

中高層 RC 造集合住宅を対象とした損傷評価のための構造モニタリングシステムに関する研究
その1 1次モード応答抽出のためのフィルタの検討

Study on Structural Monitoring System for Damage Classification of RC Mid and High-rise Residential Buildings
Part 1 Examination of Filter Coefficients for Extracting First-order Mode Response

○江口琢茉¹, 吉野竣¹, 佐藤萌², 扇谷匠己³, 北嶋圭二⁴
*Takuma Eguchi¹, Syun Yoshino¹, Moe Sato², Narumi Ougiya³, Keiji Kitajima⁴

Abstract: The purpose of this study was to ascertain the appropriate high-frequency cutoff frequencies for extracting the first-order mode response. 10- to 19-stories building models were used, and the optimal filter was estimated from the results of the maximum and cumulative calculation errors. The optimal filter width is the elastic first-order natural frequency f_0 multiplied by the filter coefficient 0.9 if the elastic first-order natural frequency is known in advance. The filter coefficient was 1.6 multiplied by the dominant frequency estimated from the Fourier amplitude ratio of the observed acceleration records at all times.

1. はじめに

筆者らは事前解析を行わず、等価高さ位置付近の床(以後、上屋床)と最下階床の2箇所の加速度記録のみから建物の損傷度を判定する手法(以後、本手法)を提案している。先行研究では、建物の損傷度を判定する上で必要な、1次モード応答に相当する加速度-変位関係の算出方法について示されている¹⁾。なお、先行研究で使用したフィルタは6次のbutterworthフィルタで、最下階センサに用いるフィルタは低周波遮断振動数 f_L を0.2Hz、高周波遮断振動数 f_H を10Hzとした。しかし、上屋床の加速度記録に用いるフィルタについて、適切に1次モード応答を抽出することが出来る高周波遮断振動数 f_H は十分に検討しきれていない。

そこで本研究では、上屋床の加速度記録に用いるフィルタについて、適切に1次モード応答を抽出することが出来る高周波遮断振動数 f_H を明らかにすることを目的とする。検討方法として、板状RC造高層集合住宅を想定した立体骨組モデルの時刻歴応答解析結果を観測記録と仮定し、本手法を用いて算出した結果(以後、算出結果)より、最大相対変位および最大加速度の算出誤差について検討する。

なお、各階床の応答加速度および応答変位を用いて算出した動的縮約結果を正解値と位置付けた。本手法は建物の損傷程度が目視で判定しにくい場合を適用範囲としているため、動的縮約結果で最大全体変形角が1/85rad以下のケースを検討対象とする。

2. 本手法概要

以下に本手法の具体的な流れを示す。

- ① 最下階床および上屋床の加速度記録を計測し、フィルタ処理を行う。

- ② フィルタ処理後の加速度記録を積分し、最下階床、上屋床の絶対速度を算出する。
- ③ 絶対速度に再度フィルタ処理を行いその後積分し、最下階床と上屋床の絶対変位を算出する。
- ④ 最下階床の絶対変位と上屋床の絶対変位の差を取り上屋床の相対変位を算出し、最大相対変位を評価する。
- ⑤ 履歴曲線より、降伏変位を推定する。
- ⑥ 最大相対変位を推定した降伏変位で除すことで全体塑性率(建物の損傷度)を推定する。

降伏変位の推定方法の詳細については文献1)を参照されたい。

3. 時刻歴応答解析概要

本報では、時刻歴応答解析結果を観測記録と仮定し、検討する。時刻歴応答解析の解析概要について示す。

検討建物は10・15・19層の板状RC造高層集合住宅3棟である。平面形状は長辺方向が純ラーメン、短辺方向が耐震壁付きラーメン構造でスパン7×1で同一形状とした。建物モデル概要の詳細については文献1)を参照されたい。入力地震波は、最大地動速度を50cm/sに基準化した観測波4波(El-Centro, Taft, Hachinohe, JMA-kobe)のNS・EW波を用い、入力倍率を0.25刻みで0.5倍から2.0倍までとした計28波を用いた。入力には2方向同時入力とした。なお、本報では純ラーメン方向のみを検討対象とする。

4. 高周波遮断振動数の検討

本検討では、事前に弾性1次固有振動数が把握できる場合と、把握できていない場合を想定し、固有値解析より算出した弾性1次固有振動数 f_0 と、全時刻の観測加速度記録のフーリエ振幅比(上屋床センサ/最下階

1: 日大理工・院(前)・海建 2: 日大理工・学部・海建 3: 長谷工コーポレーション・客員研究員 4: 日大理工・教員・海建

床センサ)より推定した卓越振動数 f_d を基準に高周波遮断振動数 f_H を設定し検討を行う。使用するフィルタは式(1)に示す6次のbutterworthフィルタとした。フィルタ形状をFig.1に示す。

$$H(\omega) = \sqrt{\frac{1}{1+(f/f_H)^{12}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{1+(f_L/f)^{12}}} \dots (1)$$

$H(\omega)$: 伝達関数
 f : 振動数
 f_H : 高周波遮断振動数
 f_L : 低周波遮断振動数

高周波遮断振動数 f_H は、 f_0 , f_d に一定の倍率(以後、フィルタ係数)を乗じて設定する。なお、低周波遮断振動数 f_L は0.2Hzで一定とした。

Fig.2に15層建物にEl-Centro波の1.0倍を入力した際の動的縮約結果を示す。図中に f_d より算出した ωd^2 と f_0 より算出した ω_0^2 をあわせて示す。Fig.2より、 ωd^2 は動的縮約結果の最大応答点と原点を結んだ割線剛性とはほぼ一致していることがわかる。

Fig.3に f_d の f_0 に対する低下率と変形角の関係を示す。Fig.3より、 f_d は f_0 に対して、40~70%程度に低下していることが確認できる。よって、 f_0 に乗じるフィルタ係数は、 f_H が f_d に近い値となるよう0.4~1.2とした。 f_d のフィルタ係数は f_H が f_0 に近い値となるよう1.4~2.5とした。Table1に設定したフィルタ係数を示す。

Fig.4に算出結果(最大相対変位および最大加速度)の算出誤差を示す。図中縦軸は、誤差(算出結果の最大相対変位および最大加速度/動的縮約結果の最大値-1)とし、横軸はフィルタ係数とする。なお、図中のプロットは動的縮約結果より算出した最大変形角で色分けした。

文献1)より、本手法では最大相対変位を損傷評価に用いるため、最大相対変位が過小評価されることは望ましくない。そこで、最大相対変位の算出誤差が-10%以下のフィルタ係数は、不適切であると判断した。

Fig.4より、最大相対変位が適切に算出された f_H は、 f_0 基準とすると、フィルタ係数0.9~1.2、 f_d 基準とすると、フィルタ係数1.6~2.5で

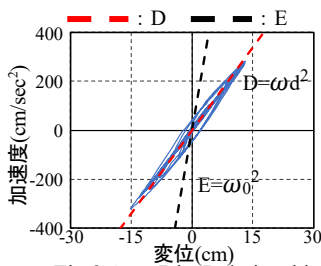


Fig.2 Acc.-Dis. Relationship

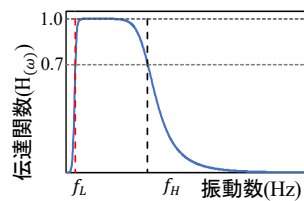


Fig.1 Filter shape

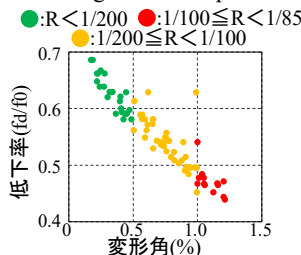


Fig.3 Rate of decrease in frequency and Dis.

Table1 Filter setting

高周波遮断振動数 (基準×係数)	基準	f_0 (1次固有振動数)	f_d (卓越振動数)
	係数	0.4 ~ 1.2	1.4 ~ 2.5
低周波遮断振動数		0.2	

あった(Fig.4中、背景白塗りつぶし部分)。

最大相対変位が適切に算出された f_H のうち、最も最大値の算出誤差が小さい f_H について検討を行う。Table2に最大相対変位が適切に算出されたフィルタ係数の累積算出誤差を示す。累積算出誤差は各ケースの算出誤差の絶対値を足し合わせたものとした。

Table2より、最大相対変位の累積算出誤差は204~225%でほぼ一定であった。一方、最大加速度の累積算出誤差は387~673%と最大相対変位の累積算出誤差と比較して、ばらつく傾向であった。よって、最大加速度の累積算出誤差を重視すると f_0 基準の場合フィルタ係数0.9で、 f_d 基準の場合フィルタ係数1.6で最も小さい累積算出誤差となることがわかった。

以上の検討より、適切に1次モード応答を抽出することが出来る高周波遮断振動数 f_H は、 f_0 を基準にした場合、フィルタ係数は0.9、 f_d を基準にした場合、フィルタ係数は1.6とすることとした。

5. まとめ

本検討により、得た知見を以下に示す。

1次モード応答を抽出するための適切な高周波遮断振動数 f_H は、事前に弾性1次固有振動数が把握できる場合は、弾性1次固有振動数 f_0 にフィルタ係数0.9を乗じた値であり、全時刻の観測加速度記録のフーリエ振幅比より推定した卓越振動数 f_d にフィルタ係数1.6を乗じた値であった。

6. 参考文献

その2にまとめて記す。

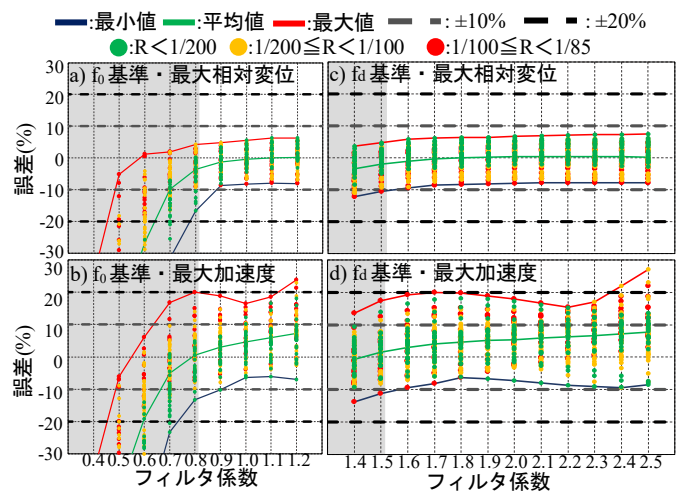


Fig.4 Calculation error

Table2 Cumulative calculation error

	基準	f_0										f_d									
		係数	0.9	1.0	1.1	1.2	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5					
累積算出誤差 (%)	最大変位	225	204	212	221	220	209	206	207	209	212	214	217	220	224						
	最大加速度	391	446	519	605	387	429	457	475	489	508	540	582	628	673						